

# 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

Herausgeber:	Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
Redaktion:	Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten Andrea Schneider  Fakultät für Maschinenbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß, Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges, Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer, Dipl.-Ing. Silke Stauche
Redaktionsschluss: (CD-Rom-Ausgabe)	31. August 2005
Technische Realisierung: (CD-Rom-Ausgabe)	Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau Dipl.-Ing. Christian Weigel Dipl.-Ing. Helge Drumm Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Technische Realisierung: (Online-Ausgabe)	Universitätsbibliothek Ilmenau <a href="#">ilmedia</a> Postfach 10 05 65 98684 Ilmenau
Verlag:	 Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V. Werner-von-Siemens-Str. 16 98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe):	3-932633-98-9	(978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe):	3-932633-99-7	(978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:  
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## **Machine-Vision- und Ultraschall-gestütztes Inline-Messkonzept zur wirtschaftlichen Qualitätssteigerung in der Kleinserienfertigung**

### **Abstract**

Bei der Herstellung moderner Produkte erfordert eine steigende Variantenvielfalt und damit kleiner werdende Losgrößen, insbesondere im Bereich des Qualitätswesens eine Reorganisation der Prüf- und Überwachungskonzepte. So werden starre Systeme der immer flexibler ausgelegten Fertigung nicht mehr gerecht. Besonders bei der Fertigung von Bauteilen aus hochwertigen Rohstoffen, mit großer Wertschöpfung im Fertigungsprozess oder sicherheitskritischen Bauteilen tritt neben die Notwendigkeit der Geometrieüberwachung die Sicherstellung der Materialeigenschaften. In diesem Beitrag werden Überwachungs- und Prüfkonzpte vorgestellt, die durch die Verwendung eines flexiblen maschinenintegrierten Bildverarbeitungssystems bzw. durch den Einsatz eines in die Spindel einwechselbaren Ultraschallsensors wegweisende Möglichkeiten aufzeigen, die Qualität zu steigern, Fehlerraten zu verringern und so einen Beitrag zur Gesamtwirtschaftlichkeit eines produzierenden Unternehmens zu leisten.

### **Vorteile einer Inline-Messung**

Um die Entwicklung von geometrischen Qualitätsmerkmalen frühzeitig zu erkennen und Analyseergebnisse in kleinen, fertigungsnahen Qualitätsregelkreisen wieder in den Produktionsprozess einfließen lassen zu können, müssen die Maßnahmen zur Qualitätskontrolle „inline“ (d.h. in der Fertigungslinie) durchgeführt werden. Im Gegensatz zur Großserien- oder Massenfertigung erfordert die Einzelteil- und Kleinserienfertigung neue, flexible Prüfkonzpte. Diese müssen sich leicht an neue Messaufgaben und geänderte Rahmenbedingungen anpassen lassen.

Dabei bietet die Integration von effizient geplanten Messabläufen direkt in Produktionsprozesse für viele Anwendungsfälle die Erschließung bislang unzureichend genutzten Potenzials. Im Bereich der Fräsbearbeitung kann ein Großteil dieser Messfunktionen grundsätzlich mit schaltenden, in die Werkzeugspindel einwechselbaren Tastsystemen realisiert werden. Heute wird diese Funktionalität nur zum genauen Einmessen der Nullpunktverschiebung und der Orientierung des Rohteilkoordinatensystems vor der Bearbeitung genutzt (Einmessen). Für die automatisierte Werkstoffprüfung existieren im Allgemeinen kaum fertigungsnahe Konzepte. Sie ist vielmehr geprägt durch manuelle Tätigkeiten oder kostenintensive Prüfstände in einem laborähnlichen Umfeld.

Im Folgenden sind exemplarisch die wichtigsten Vorteile einer maschinenintegrierten Inline-Messung aufgeführt:

- Realisierung prozessnaher Qualitätsregelkreise,
- Reduzierung von Rüstzeiten durch die Nutzung einer Aufspannung sowie vorhandener CAD- bzw. NC-Daten,
- Elimination von Einstellfehlern,
- Einsparung von Spannmittelkosten,
- Einsparung von sonstigen Messmitteln,
- Nutzung der leistungsfähigen, achsintegrierten Wegmesssysteme für Messaufgaben bei Maschinenüberkapazitäten und
- Wegfall separater Prüfplätze bzw. -anlagen.

### **Prozesssicherung durch Machine Vision**

Fertigungsanlagen in modernen Produktionsbetrieben haben mittlerweile einen hohen Automatisierungsgrad erreicht. Insbesondere die verfügbaren Automatisierungskonzepte für die Großserie können als weit entwickelt und gut beherrschbar angesehen werden. Diese Verfahren setzen jedoch konstante bzw. gut reproduzierbare Randbedingungen voraus.

Besonders Anwendungen im Bereich Blechverarbeitung oder der Kalt- und Warmumformung benötigen verlässliche und reproduzierbare Spannelemente, um störungsfreie und sichere Prozessabläufe zu gewährleisten. In Abhängigkeit des Automatisierungsgrades sind Arbeitsvorrichtungen oftmals ein signifikanter Kostenfaktor, der nicht vernachlässigt werden darf.

Vor allem in der Einzelteil- und Kleinserienfertigung machen diese Kosten einen großen Anteil an den gesamten Fertigungskosten aus; können aber aus Wettbewerbsgründen nicht ohne weiteres an den Kunden weitergegeben werden. Neue und intelligente Ansätze können an dieser Stelle Abhilfe schaffen.

Das sichere Beherrschen einer Kleinserienfertigung wird erschwert durch eine hohe Variantenvielfalt und einer großen Anzahl schwer prognostizierbarer Störeinflüsse. Auch ist dort ein hoher Anteil an manuellen Tätigkeiten zu verzeichnen: Einlegen und Spannen der Bauteile, Einmessen des Bauteils sowie Auswählen und Anpassen der NC-Fertigungsprogramme. Es besteht daher eine vergleichsweise hohe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fehlern und Prozessunterbrechungen infolge der Interaktion des Menschen mit dem automatisierten Prozess.

Abbildung 1 zeigt zwei typische Beispiele für Unterbrechungen von teilautomatisierten Fertigungsabläufen: auf der linken Seite wurden falsche Spannvorrichtungen eingesetzt, die geometrisch von den Sollbedingungen abweichen. Auf rechten Seite ist ein verschobenes Rohteil zu sehen, dessen reale Lage von der im NC-Programm hinterlegten Position abweicht. Obwohl grundsätzlich die Möglichkeit besteht, ein Rohteil oder Werkstück mit Hilfe eines in die Spindel einwechselbaren Tasters taktil einzumessen, ist eine automatisierte Initialantastung bei starken Rohteillageunsicherheiten kritisch und kann zu Tastkollisionen oder Leerantastungen führen.

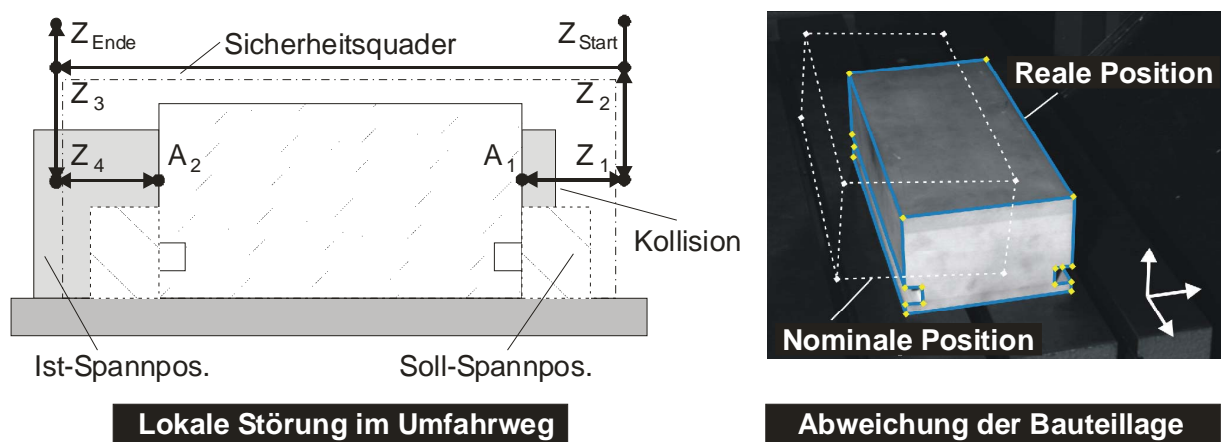


Abbildung 1: Typische Ausfallursachen teilautomatisierter Abläufe

Um die meisten dieser Störungen bereits im Vorfeld zu umgehen, wurde am WZL ein bildverarbeitungsgestütztes Steuerungs- und Überwachungssystem entwickelt (Abbildung 2). Durch dieses sogenannte Machine-Vision-System kann eine Werkzeugmaschine systematisch Szenarien erkennen, die von den Sollbedingungen abweichen und entsprechende Korrekturmaßnahmen einleiten.

Der Kern des Softwareprototypen, die 3D-Werkstückkalibrierung, basiert auf Bildverarbeitungsalgorithmen zur Konturerfassung. Dieses System befreit den Maschinenbediener u.a. von der zeitintensiven Tätigkeit des Einmessens.

Auch für die Automatisierung fertigungsintermittierender Messungen von Werkstückmerkmalen bietet die Machine Vision einen praktikablen Lösungsansatz zur Reduzierung von Störungen und Nebenzeiten. Ein integriertes 2D-Kamerasystem überwacht und unterstützt die prozessintermittierenden taktilen Messabläufe und optimiert diese bezüglich Antastsicherheit und Tastgeschwindigkeit.

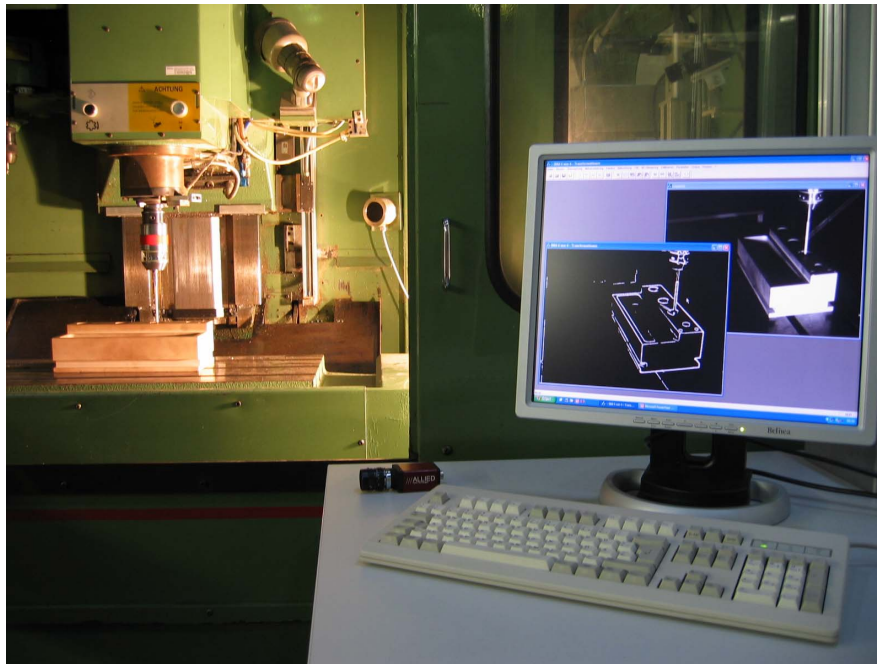


Abbildung 2: Versuchsstand für Machine-Vision-Applikationen

### **Herausforderungen der industriellen Bildverarbeitung und Optimierungspotentiale**

Eine besondere Herausforderung für BV-Lösungen, die im Bereich der spanenden Metallbearbeitung zum Einsatz gelangen sollen, stellt das Reflexionsverhalten von Licht an metallischen Oberflächen dar. Hinzu kommt, dass im Kleinserienbereich wechselnde Oberflächenbeschaffenheiten und Bauteilgeometrien beherrscht werden müssen. Außerdem ist die Bildszene weitestgehend durch das Fertigungs- bzw. Messumfeld vorgegeben, sodass sie nicht speziell an die Erfordernisse einer sicheren Bildauswertung angepasst werden kann. Damit Objektmerkmale für die Überwachung durch das Kamerasystem sicher extrahiert werden können, muss ein geeignetes BV-System flexibel und robust sein. Eine feste Parametrierung für ein begrenztes Spektrum an Merkmalen und Aufgaben, wie sie heute üblich ist, wird diesen Forderungen nicht gerecht.

Um die Forderung nach hoher Flexibilität und Automatisierbarkeit ohne die Kenntnis von BV-relevanten Informationen über die Bildszene erfüllen zu können, wurde eine konturorientierte Mehrbildoptimierung bei nahezu beliebig variierender Beleuchtung entwickelt, deren Optimierungskriterium die Wanderungsneigung einzelner Konturen (bzw. Pseudo-Konturen) ist. Dadurch wird eine durch Schattenwürfe und Reflexionen bzw. Spiegelungen hervorgerufene Fehlinterpretation der Bildszene verhindert. Erst diese Vorgehensweise ermöglicht im Anschluss einen Abgleich von Konturen sowie

Bauteileckpunkten des vorliegenden CAD-Modells mit den ermittelten Lagewerten der realen Bauteilkonturen (Abbildung 1).

Die Funktionalität des vorgestellten Systems umfasst:

- die Machine-Vision-gestützte Lageerfassung
- und die Machine-Vision-gestützte Antastüberwachung für die prozessintermittierende Qualitätsprüfung

und basiert auf den folgenden Schritten [1]:

1. Eliminierung unerwünschter Oberflächentexturen durch geeignete Filterung und
2. Hervorheben von Grauwertsprüngen (starke Graustufengradienten an Objektkanten im Bild).
3. Segmentierung der Bauteilkanten und Aufbereitung (Binarisierung, Skeletierung etc.) der Darstellung.
4. Übertragung der durch mehrere Bilder der Serie verifizierten Konturen in das optimierte Konturbild. Die Störkonturen werden so weitgehend unterdrückt und die Bauteilkanten geschlossen dargestellt (siehe Abbildung 3).
5. Extraktion der Bauteileckpunkte durch Schnitt der detektierten Geradeabschnitte

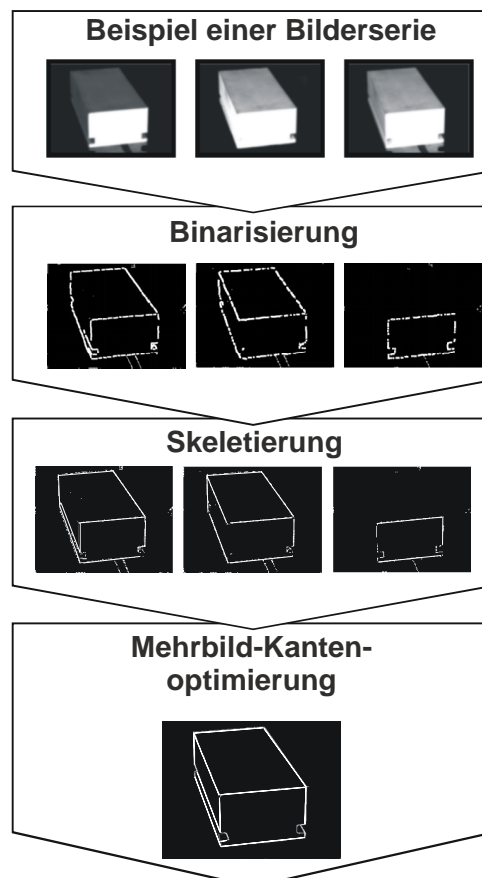


Abbildung 3: Prinzip der Mehrbildanalyse

## Iteratives CAD-Matching zur Bestimmung der Positionsabweichung

Zur Bestimmung einer Bauteilposition wird anschließend ein iterativer CAD-Abgleich durchgeführt. Für das CAD-Modell wird dafür zunächst eine Anfangsposition angenommen, die normalerweise mit der Nennposition übereinstimmt. Die Abstände zwischen den Objekt- und Modellmerkmalen werden iterativ minimiert, indem das Modell rechnerisch translatorisch und/oder rotatorisch verschoben bzw. gedreht wird und korrespondierende Merkmale verglichen werden. Der Absolutwert der Abstände und der Verdrehungen entspricht der Positionsabweichung des realen Werkstücks zur Nennposition (vgl. Abbildung 1 rechts).

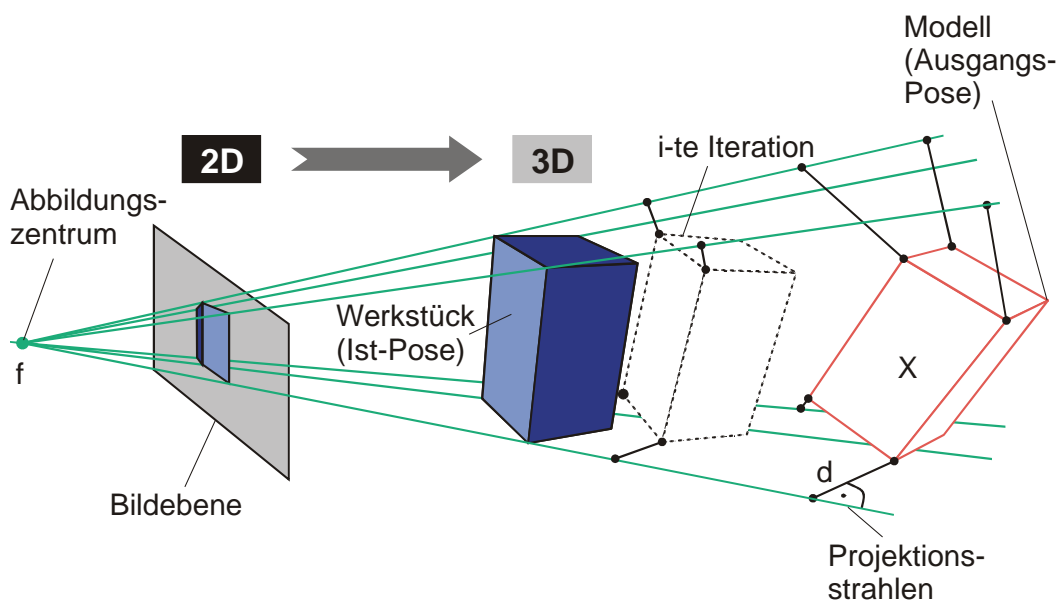


Abbildung 4: Bauteilmatching mit CAD-Modell

Eine verbreitete Methode um einen 3D-Datensatz von einem Modell zu erstellen, ist der Iterative Closest Point Algorithmus (ICP), der in verschiedenen optischen 3D-Messsystemen verwendet wird. Der ICP Algorithmus ist eine iterative Prozedur, bei welcher jede Iteration aus zwei Einzelschritten besteht. Im ersten Schritt werden nächstgelegene Punkte in Beziehung gesetzt, wobei die Position des aktuellen Objekts fest bleibt. Im zweiten Schritt wird der Verschiebungseintrag der zuvor gematchten Punktpaare mittels einer Least-Squares-Minimierung bestimmt (Abbildung 4). Es kann gezeigt werden, dass sich der Restfehler einem konvergentem Minimum annähert. Das Prinzip des ICP-Algorithmus wurde zusätzlich um einen Operator erweitert, welcher Merkmalskorrespondenzen zwischen 3D und 2D identifizieren kann [2]. So können Merkmale von 3D-Objekten mit einer einfachen 2D-Bildverarbeitung zugänglich erfasst werden.



Ebenfalls zum Einsatz kommt der sogenannte IIPM-Algorithmus (Iterative Inverse Perspective Matching) welcher so verbessert wurde, dass nicht jedes zu erfassende Merkmal die gesamte Bildverarbeitungskette durchlaufen muss. Auch können Punkte, die fälschlicherweise als Objekteckpunkte erkannt wurden, aufgrund der Robustheit dieses Algorithmus ohne Instabilitäten gehandhabt werden. So werden falsch detektierte Merkmalskorrespondenzen, bei denen Werkstück und CAD-Modell nicht übereinstimmen, gelöscht. Des weiteren erfolgt keine aufwändige und zeitintensive Bestimmung von verdeckten Merkmalen.

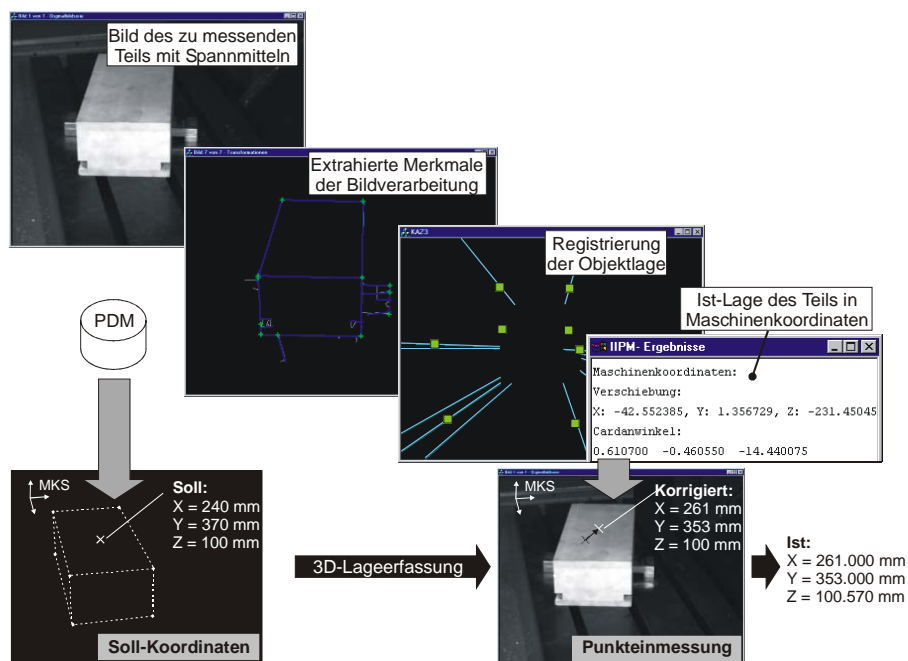


Abbildung 5: Machine-Vision-Lageerfassung

Die grobe Lage und Orientierung die während des Matching-Prozesses bestimmt wird, dient als Korrekturwert für das in der Versuchsplanung generierte NC-Messprogramm. Dadurch wird das taktile Feineinmessen effizienter und sicherer (Abbildung 5). Kollisionen zwischen dem Messtaster und der Spannvorrichtung oder dem Werkstück können sicher verhindert und minimale Anfahrabstände des Tasters zum Prüfkörper realisiert werden.

Das Ziel der Machine-Vision-gestützten, taktilen Messung ist auf der einen Seite die dynamische Anpassung der Antastpunkte, um Geometrien unter Beachtung lokaler Formabweichungen zu messen. Auf der anderen Seite sollen Parameter des NC-Messprogramms (momentane Positionen, Halte-, und Verfahrspositionen) automatisch von der Software generiert werden, um einen schnellen und kollisionsfreien Verfahrensweg zu jedem Punkt der Messung zu sichern [1,3].

## Inline-Ultraschallprüfung - Verfahrensvarianten

Neben der Geometrieprüfung ist die Werkstoffprüfung speziell bei sicherheitskritischen Bauteilen von elementarer Bedeutung. Die Ultraschalltechnik ist dabei eine, seit vielen Jahrzehnten zuverlässig eingesetzte, Methode zur Charakterisierung von inneren Fehlstellen und Strukturen bei einer großen Bandbreite von Materialien. Die Anwendung dieser Technik beschränkt sich bei der Einzel- und Kleinserienfertigung jedoch häufig auf zeitaufwändige, handgeführte Messungen mit eingeschränkten Auswertemöglichkeiten.

Ultraschallprüfsysteme arbeiten mit hochfrequenten, mechanischen Wellen zur zerstörungsfreie Charakterisierung von Bauteilen. Generell sind zwei verschiedene Methoden verbreitet: die Durchschallungsanordnung, die auf einem separaten Sender und Empfänger basiert und die Impuls-Echo-Anordnung, in welcher ein umschaltbarer Sende-Empfangsprüfkopf zum Einsatz kommt (Abbildung 6).

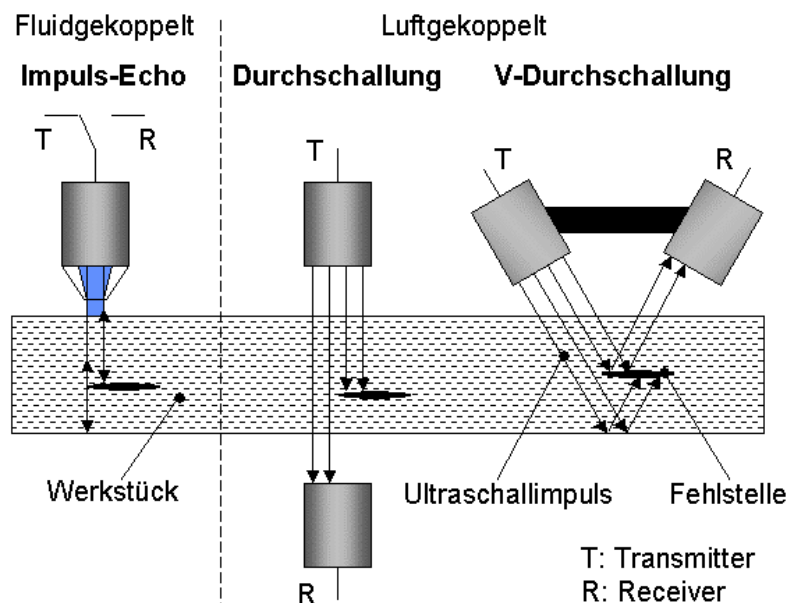


Abbildung 6: Ultraschallverfahren zur Inline-Messung

Beim Impuls-Echo-Verfahren werden die reflektierten Signalechos aus dem Bauteilinneren ausgewertet, während beim Durchschallungsverfahren der transmittierte Schall aufgenommen wird. Im praktischen Einsatz der konventionellen Fluidankopplung ist das Impuls-Echo häufiger anzutreffen. Dies ist bedingt durch die einfachere Nutzbarkeit durch die Bewegung lediglich eines Sensors. Darüber hinaus liefert diese Methode Laufzeitinformation der Fehlstellenechos, die bei bekannter Schallgeschwindigkeit des Materials Aussagen über die Tiefenlage des Fehlers oder Dickenmessungen ermöglichen [4, 5].

Die Durchschallung wird dagegen vor allem bei stark schallschwächenden Werkstoffen verwendet, da der Schall die Prüfstrecke nur einmal passiert. Seit einigen Jahren wird die (V-)Durchschallung mit speziellen Luftultraschallsensoren vermehrt in automatisierten Prüfanlagen eingesetzt. Die luftkoppelnde Ultraschallprüfung gewinnt insbesondere bei der Prüfung von faserverstärkten Kunststoffen oder wasserempfindlichen Werkstoffen an Bedeutung.

### **Zwei- und dreidimensionale Ultraschallmessung**

Ein weiterer wichtiger Aspekt der automatisierten Ultraschallprüfung ist die rechnergestützte Aufnahme und Auswertung der Ultraschalldaten. Einfache geometrische Formen, wie Quader oder Zylinder lassen sich leicht durch mäander- bzw. schraubenförmige Verfahrbewegungen abscannen. Die Messergebnisse können zur besseren Auswertbarkeit in zweidimensionalen Bildern visualisiert werden. Am häufigsten zur Darstellung genutzt, werden die sogenannten B- und C-Bilder. Das B-Bild zeigt einen vertikalen Schnitt durch den Prüfling entsprechend der Einschallrichtung, während das C-Bild einen Tiefenschnitt parallel zur Scanebene wiedergibt (Abbildung 7). Die Informationen in diesen Bildern werden beim Impuls-Echo-Verfahren durch die farbliche Codierung der Ultraschallechos erzeugt [5].

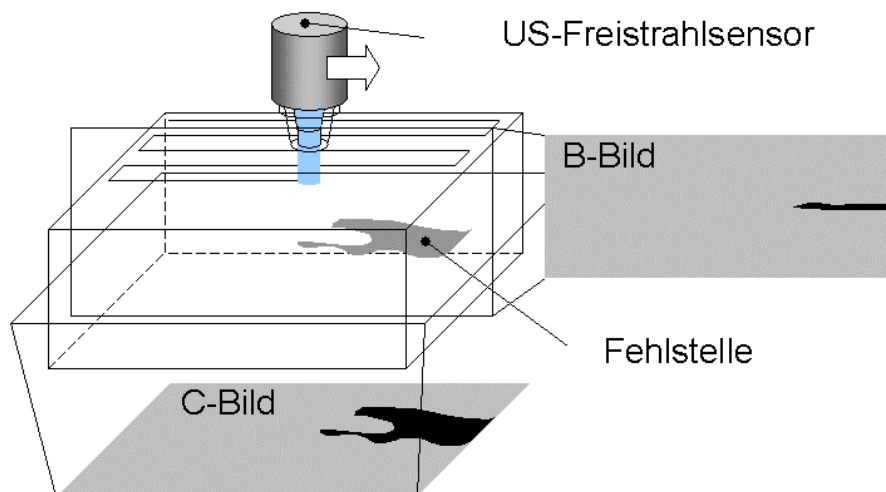


Abbildung 7: Ultraschall-Scanmethoden

Darüber hinaus ist es möglich, die Ultraschallmessdaten eines Messablaufs vollständig zu speichern und das Bauteilinnere dreidimensional zu visualisieren. Das am WZL realisierte Prüfsystem speichert die Messdaten ohne Datenverlust als einen Stapel von B-Bildern im

Bitmap-Format. Die Wahl dieses Formats hat keinen Einfluss auf die Qualität der nachträglich generierte Volumendarstellung, erlaubt aber bei Bedarf eine schnelle 2D-Vorabauswertung der Messung.

Zur Visualisierung der Messdaten wird eine kommerzielle Computertomographie-Software verwendet. Durch die Speicherung der Daten aller Einschallpunkte ist es möglich, auch offline beliebige Schnittdarstellungen zu generieren und auszuwerten. Durch genaue Messung der Schallgeschwindigkeit des Materials kann die 3D-Darstellung für virtuelle Geometriemessungen exakt skaliert werden.

Abbildung 8 zeigt die 3D-Darstellung der Messung eines Aluminium-Probequaders mit verschiedenen Bohrungen als Ersatzfehler. Das Bauteil wurde von der Oberseite aus mäanderförmig gescannt, sodass die senkrecht zur Einschallrichtung liegenden Flächen ebenfalls als Echoantwort sichtbar sind. Des weiteren wurden in dieser Darstellung Volumenbereiche bzw. Voxel mit geringer Echosignifikanz ausgeblendet um die Bohrungen besser sichtbar zu machen.

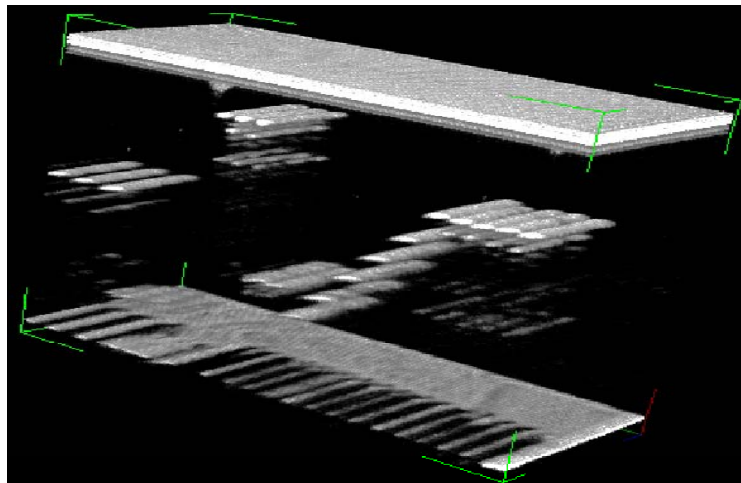


Abbildung 8: 3D-Darstellung der inneren Struktur eines Probebauteils

### **Ultraschallsensorwerkzeug zum Einsatz in Fräsmaschinen**

Um den Anforderungen nach größerer Flexibilität und einem Inline-Einsatz nachkommen zu können, wurde am WZL ein automatisch wechselbarer Ultraschallsensor zum Einsatz in Fräsmaschinen entwickelt.

Dieses maschinenintegrierte Sensorsystem basiert auf kommerziell erhältlichen Ultraschallfreistrahlsprüfköpfen, welche die Schallsignale im Impuls-Echo-Verfahren über den Kühlschmierstoffstrahl in das Bauteil einkoppeln. Je nach Spezifikationen der Messaufgabe

können verschiedene Prüfköpfe über Adapter in den Sensorträger auf HSK-63-Basis montiert werden (Abbildung 9). Durch die Verwendung eines standardisierten Werkzeugträgers wird die Unterbringung des Ultraschallsensors im Werkzeugmagazin einer Fräsmaschine gewährleistet.

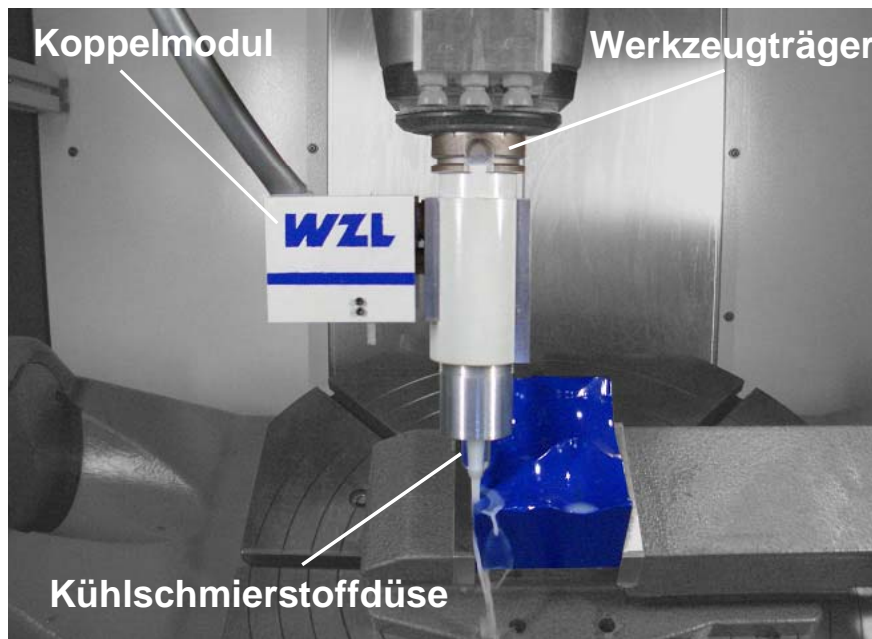


Abbildung 9: Maschinenintegrierter Ultraschallsensor im Einsatz

Um eine schnelle automatisierte Einwechselung des Sensorsystems zu realisieren, wurde im Arbeitsraum der Fräsmaschine eine Schnittstelle zur Koppelfluid- und Signalanbindung entwickelt. Der Anschluss bzw. die Trennung des Sensors erfolgt über zwei NC-Unterprogramme. Während einer Fräsbearbeitung wird die Koppelungsvorrichtung von einer Gabel am Spindelgehäuse aufgenommen. So ist der empfindliche HF-Kontakt vor Kühlschmierstoff spritzgeschützt und beeinträchtigt den Arbeitsraum der Maschine nur in sehr geringer Weise.

Die Triggerung und Signalauswertung der Ultraschallmessungen kann entweder über einen externen Messrechner oder durch, in die Maschinensteuerung integrierte, Messhard- und -software geschehen.

Während des Messablaufs bewegen die Verfahrachsen der Fräsmaschine den Ultraschallsensor NC-gesteuert über das Bauteil. Auf diese Weise können kostengünstig, ohne den Aufbau separater Prüfanlagen, skalierte Ultraschallmessungen durchgeführt werden. Um die maximale Schallleistung einzukoppeln bzw. einen optimalen Echokontrast zu erhalten, muss der Kühlschmierstoffstrahl und somit das Schallfeld senkrecht auf die Bauteiloberfläche auftreffen. Bei komplexen Bauteilen kann dies nur noch über eine 4- oder

5-Bewegung des Sensors realisiert werden. Eine Generierung der Messbahnen erfolgt dann beispielsweise über ein CAD/CAM-Modul.

Die Visualisierung eines 4- bzw. 5-Achs-Scans erfordert jedoch zusätzlich eine umfassende Koordinatentransformation um das Bauteilvolumen unverzerrt darstellen zu können. Die hierfür erforderlichen Algorithmen werden zurzeit getestet und müssen sowohl die Achspositionen der Maschine im Messpunkt, als auch die Laufzeitinformationen des Schalls für Schallgeschwindigkeiten in Kühlschmierstoff und Metall berücksichtigen.

Die automatisierte Ultraschallprüfung kann je nach Bedarf am Roh-, Fertigteil oder prozessintermittierend durchgeführt werden ( vgl. Abbildung 10). Wird eine Endprüfung durchgeführt, kann in vielen Fällen das NC-Bearbeitungsprogramm mit leichten Modifikationen zum Messen verwendet werden.

Als Messergebnisse werden, wie bereits beschrieben, Schnittbilder oder 3D-Ultraschalltomografieaufnahmen der inneren Bauteilstruktur erzeugt, die über Bildverarbeitungsverfahren für schnellstmögliche Prüfaussagen automatisiert auswertbar sind.

### **Anwendungskonzept der kombinierten Messverfahren**

Die Kombination der oben genannten Messprinzipien ist die Basis eines flexiblen Inline-Messsystems für verschiedenste, auch komplexe Anwendungsfälle. In Abbildung 10 ist ein möglicher Inline-Messprozess schematisch dargestellt, welcher im Folgenden kurz dargestellt werden soll:

Zunächst wird das Rohteil manuell oder automatisiert in den Maschinenschraubstock eingespannt. Im nächsten Prozessschritt erfolgt die präzise Positionserfassung des Bauteils zur Ausrichtung des Werkstückkoordinatensystem. Zur Nebenzeitoptimierung wird zunächst die Bauteillage grob mit dem Machine-Vision -System erfasst und erst dann mit minimierten Anfahrabständen präzise mit dem Messtaster eingemessen.

Optional kann nun eine Werkstoffprüfung mit dem Ultraschallsensor erfolgen. Die Fehlersuche ist insbesondere sinnvoll bei teuren Rohmaterialien oder Bauteilen, welche zuvor einer Wärme- oder Oberflächenbehandlung unterzogen wurden, die Risse o.ä. bedingen. Ein weiteres Szenario für welches eine Vorabprüfung in Betracht käme, ist die Identifikation von Ausschussteilen vor langwierigen und teuren Fräsbearbeitungen.

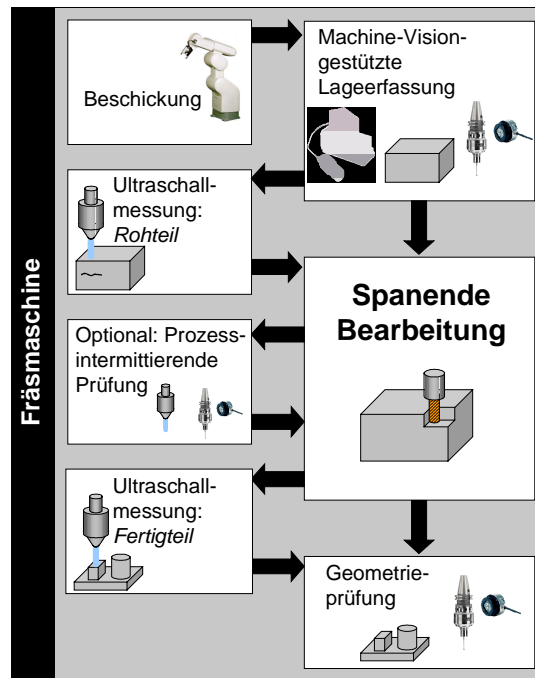


Abbildung 10: Schematischer Ablauf einer kombinierten Messung

Mögliche Teile, die eine entsprechende Messaufgabe aufweisen sind u.a. durch Aufschweissen erneuerte Extruderschnecken, Schmiedegesenke, Rohlinge von Kurbelgehäusen, Turbinenschaufeln oder Schiffsschrauben (Abbildung 11).

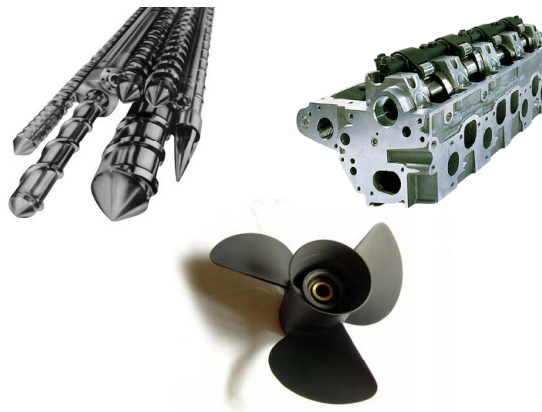


Abbildung 11: Exemplarische Bauteile

Die Ultraschallprüfung kann ebenfalls flexibel, prozessintermittierend eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Wandstärkenmessung im Bereich von Schmier- und Kühlbohrungen in Zylinderköpfen.

Zur Geometrieprüfung kann zu beliebigen Zeitpunkten während des Prozesses der Messtaster eingewechselt werden. In der Regel geschieht die Geometrieprüfung entweder in Form einer Endkontrolle oder nach bestimmten kritischen Bearbeitungsabschnitten.

## **Zusammenfassung**

Die hier vorgestellten maschinenintegrierten Mess-systeme ermöglichen eine flexible und automatisierte Prüfung von Bauteilen in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Dabei können Messaufgaben aus der Werkstoff- und Geometrieprüfung übernommen und die Messergebnisse in totzeitminimierten Qualitätsregelkreisen in die Planungs- und Steuerungsinstanzen rückgekoppelt werden.

Durch die Maschinenintegration ergeben sich für den Anwender Vorteile hinsichtlich einer schnellen Charakterisierung und Dokumentation der Werkstoff- und Bauteilqualität, der Prüfzeiten sowie den Wegfall separater Prüfplätze und -anlagen. Nach dem einmaligen Einrichten der automatisierten Systeme ist die Inline-Qualitätsprüfung durch den Maschinenbediener ohne Zusatzqualifikation möglich.

## **Danksagung**

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts „Werkstückmessung“ im Sonderforschungsbereich (SFB) 368 „Autonome Produktionszellen“. Darüber hinaus danken wir allen am Projekt beteiligten Forschern, Technikern und studentischen Hilfskräften für ihre Unterstützung.

### **Literatur:**

- [1] M. Glombitza, „Steigerung der Autonomie fertigungsintegrierter Koordinatenmesssysteme durch flexible Bildverarbeitung“, Dissertation, RWTH Aachen, 2003.
- [2] P. Wunsch, G. Hirzinger, „Registration of CAD-Models to Images by Iterative Inverse Perspective Matching“, Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition, Vienna, Austria, pp. 77-83, 1996
- [3] T. Pfeifer; B. Dietrich; M. Glombitza, „Machine-Vision-gestütztes Steuerungs- und Überwachungskonzept für die Koordinatenmesstechnik zur wirtschaftlichen Qualitätssteigerung in der Kleinserienfertigung“, Sensoren und Messsysteme 2004. Conference Ludwigsburg, Germany, March 2004, VDI-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik. (VDI-Berichte, vol. 1829), pp. 567-574, 2004.
- [4] M. Benz, „Ultraschall zur Erfassung innerer Freiformgeometrien auf Werkzeugmaschinen“, Dissertation, RWTH Aachen, 2002.
- [5] Deutsch, V., Platte, P., Vogt M., 1997, „Ultraschallprüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen“, Springer-Verlag, Berlin, Germany.

### **Autoren:**

Prof. Dr.-Ing. R. Schmitt  
Dipl.-Ing. P. Hafner  
Dipl.-Ing. B. Dietrich  
Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement  
am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen  
Steinbachstraße 53  
D-52056 Aachen  
Tel.: +49 (0) 241 - 80 20283  
Fax: +49 (0) 241 - 80 22193  
E-Mail: R.Schmitt@wzl.rwth-aachen.de